

УДК 669.018.58.017

М. А. Мариева^{*}, А. А. Шацов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

**marievamar@rambler.ru*

ОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe–Cr–Co

Исследованы особенности формирования магнитных свойств в магнитотвердом порошковом сплаве 22Х15К4МС после закалки и многоступенчатого старения. Показана возможность многократного получения требуемого уровня гистерезисных магнитных свойств. Определено влияние количества циклов повторного старения на стабильность магнитных свойств во времени.

Ключевые слова: магнитотвердый сплав, порошковый сплав, коэрцитивная сила, магнитная индукция, Fe–Cr–Co

М. А. Marieva, A. A. Shatsov

REVERSIBLE CHANGES OF MAGNETIC PROPERTIES IN ALLOYS BASED ON THE Fe–Cr–Co SYSTEM

The magnetically hard powder alloy 22Kh15K4MS was studied after quenching and multi-stage aging. The possibility of repeatedly obtaining the required magnetic properties is shown. A certain effect of the number of cycles is repeated on the constancy of magnetic properties over time.

Key words: hard magnetic alloy, powder alloy, coercive force, magnetic induction, Fe–Cr–Co

В прецизионном приборостроении широкое применение находят гистерезисные магниты на основе системы Fe–Cr–Co в составе электрических двигателей навигационных систем. В настоящей работе рассмотрены способы управления магнитными свойствами магнитотвердого порошкового сплава 22Х15К4МС при многократном старении.

Основным параметром, характеризующим эксплуатационные характеристики гистерезисных магнитов, является соотношение магнитных свойств: остаточной магнитной индукции B_r и коэрцитивной силы H_c . Обычно уровень требуемых магнитных свойств таких систем ниже максимально достижимого уровня для данных сплавов. Интервал значений магнитных свойств, необходимых в конкретной системе, может быть узким, следовательно, при термической обработке возможно получение более высокого, nežелательного уровня магнитных свойств. В работе рассмотрена возможность многократного достижения требуемых гистерезисных свойств в сплавах на основе системы Fe–Cr–Co. Однако повторная термическая обработка может способствовать снижению уровня внутренних напряжений и, соответственно, магнитных свойств во времени [1], что может оказывать существенное влияние на стабильность характеристик петли магнитного гистерезиса, от которой зависит надежность работы двигателя. Основным фактором, оказывающим влияние на магнитные свойства, является время [1]. Цель работы — определение возможности многократного достижения требуемых магнитных свойств без ущерба их стабильности.

Исследовали порошковый сплав 22X15 K4 MC, табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплава

Сплав	Содержание элементов, % (масс)					
	Cr	Co	Mo	W	FeSi	Fe
22X15K4MC	22,5	15	4	—	2	основа

В качестве шихты использовали: хром ПХ-1 С, ТУ 14–5-298–99, кобальт ПК-1, ГОСТ 9721–79; железо ОСЧ 6–2, ТУ 6–09–05808008–262–92; феррокремний ФС50, ГОСТ 1415–93. Шихту усредняли в смесителе со смещенной осью вращения в течение 8 часов. Заготовки образцов в количестве 10 шт. получали холодным прессованием при давлении 600 МПа и спекали при 1350 °С в вакууме 10^{-2} Па 2 ч. Термическая обработка включала закалку от 1250 °С в 15 %-ном водном растворе NaCl и последующее трехступенчатое старение при температурах 635, 575, 555 °С в течение 40, 50 и 5 мин соответственно с принудительным охлаждением на воздухе. Для изменения уровня магнитных свойств проводили повторные циклы старения при указанных температурах с выдержками 15, 50 и 5 мин соответственно. Общее количество циклов

старения составило 3. Магнитные свойства определяли на гистерезис-графе «Permagraph L» с программным обеспечением PERMA.

Магнитные свойства образцов в зависимости от количества циклов старения приведены в табл. 2.

Из полученных результатов следует, что с увеличением количества циклов старения происходит снижение окончательных магнитных свойств образцов в среднем на 20 %. Увеличение количества циклов от 3 до 5 приводило к снижению стабильности магнитных свойств: в течение 120 ч в нормальных условиях наблюдали снижение коэрцитивной силы в среднем на 25 % (рис.), значение магнитной индукции оставалось неизменным.

Таблица 2

Магнитные свойства образцов после старения

Показатели	№ цикла								
	1			2			3		
$T_{\text{стар}}, ^\circ\text{C}$	635	575	555	635	575	555	635	575	555
B_r , Тл	0,98	0,99	1,02	0,97	0,97	1,01	0,94	0,95	0,98
H_c , кА/м	8,67	9,18	13,1	9,9	10,2	11,7	9,8	9,87	10,4

По мнению авторов, снижение коэрцитивной силы может быть связано с уменьшением уровня внутренних напряжений в структуре материала, что подтверждается результатами работы [2].

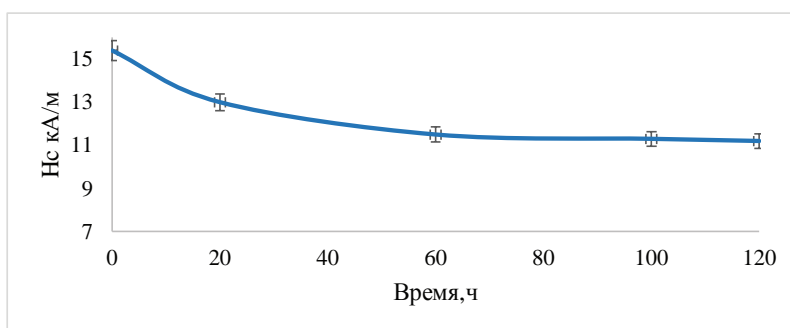


Рис. Зависимость коэрцитивной силы образцов от времени

Таким образом, показана возможность получения требуемого уровня B_r и H_c , однако общее количество циклов старения для достижения стабильных магнитных свойств не должно превышать 3.

Литература

1. Кекало И. Б. Самарин Б. А. Физическое материаловедением прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами : учебник. М. : Металлургия, 1989. 496 с.

2. Влияние добавок Мо и W на гистерезисные магнитные свойства порошкового гребневого сплава / К. Н. Генералова [и др.] // МиТОМ. 2019. № 10. С. 72–77.